

Inventor: Sugimoto et al.  
Docket No.: 10873.600US01  
Title: PIEZOELECTRIC ELEMENT HAVING THICKNESS SHEAR VIBRATION AND  
MOBILE COMMUNICATION DEVICE USING THE SAME (AS AMENDED)  
Serial No.: 09/710,472  
EXHIBIT A

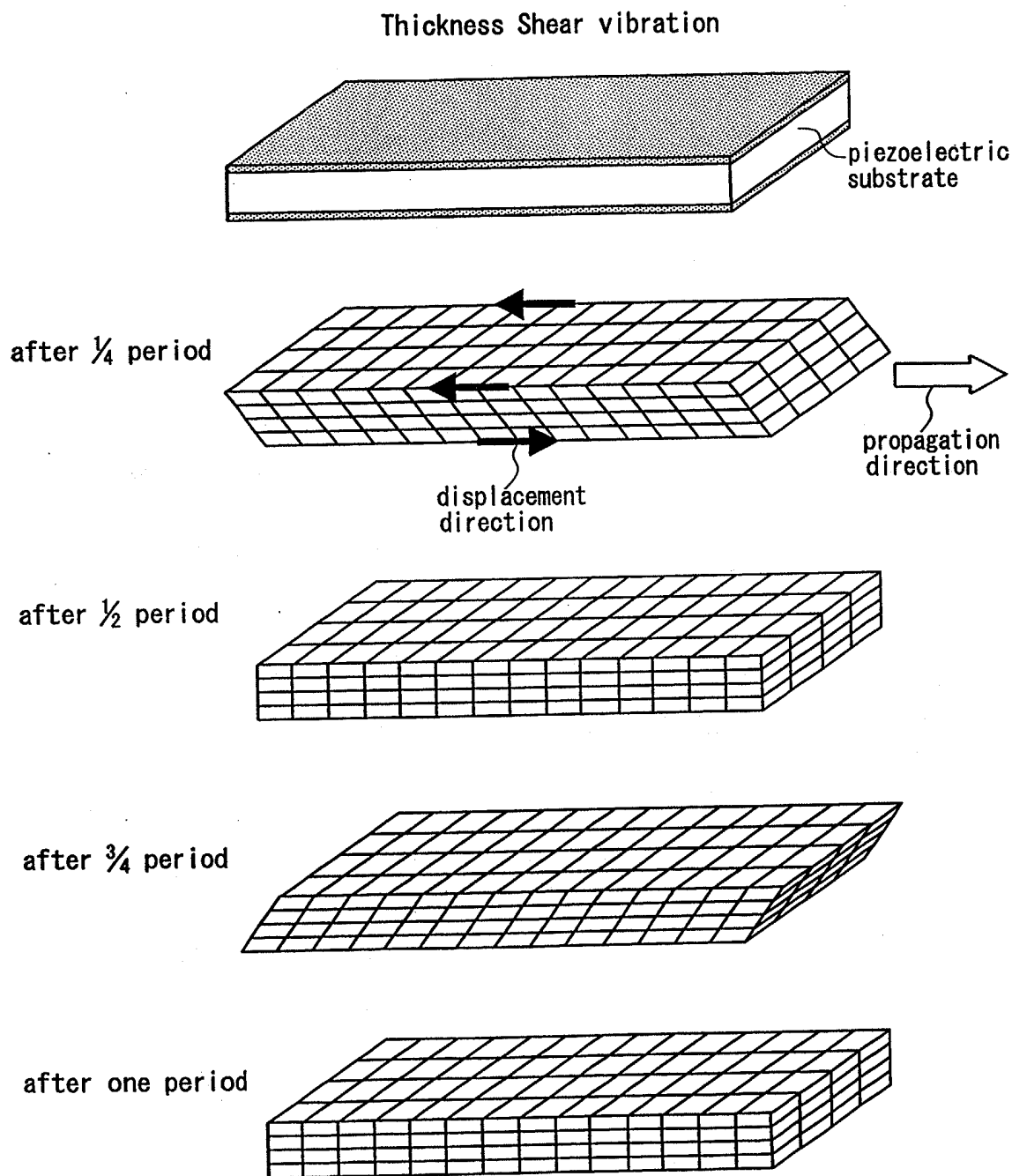
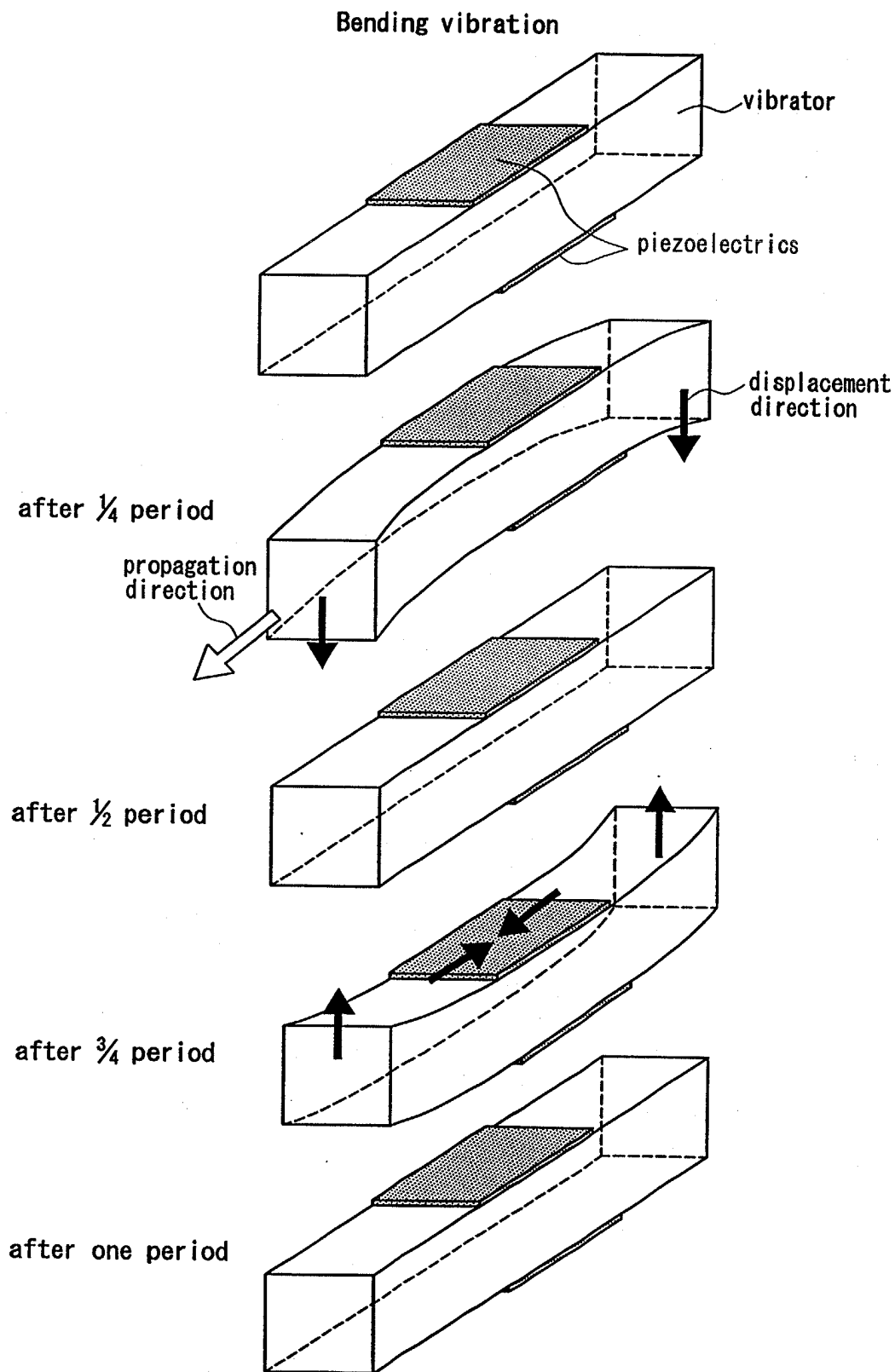


FIG. A



Inventor: Sugimoto et al.  
Docket No.: 10873.600US01  
Title: PIEZOELECTRIC ELEMENT HAVING THICKNESS SHEAR VIBRATION AND  
MOBILE COMMUNICATION DEVICE USING THE SAME (AS AMENDED)  
Serial No.: 09/710,472  
EXHIBIT B



**FIG. B**

これは一自由端に適當な付加質量を付して、振動子の共振その他の諸特性を制御するようにしたものである。この振動子は浮遊型であるので、振動子に直接静圧を受けることはない。またこの場合の  $m_0$  の等価回路は、振動子全体の運動があるので図 3-79 で  $m_0$  枝路を有するものとなる。付加質量を 0 (すなわち  $q=0$ ) にすると (2) の回路自由で、機械慣性を一自由端に与えた場合の式が導き出される。

५०५

圧電体を2枚の弾性板の間に挟んだもので、弾性板の無いときに比べて共振周波数をずっと低くすることができる。左の図は接合点の場合を示してある<sup>4)</sup>。またこれを基本にすれば図 3-81 のような非対称型振動子の共振状態における解を得ることができる。すなわち図の P 点が振動の節であることと、この場合の振動は P 点において二つにわけられ、それぞれ一端を固定した接合点が二つ P 点において接合されたものと考えられる<sup>5)</sup>。図の II 部の記号には'をつける。II 部の材料長に示したものに  $\frac{1}{2}$  をつけたものであえられる。接合点における力が相等しいことから比例係数  $\lambda$  と  $\lambda'$  との間には

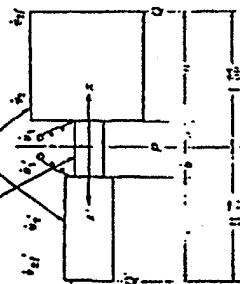


圖 5-21 某村群眾聯合社

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{Z_{11} \cos(\omega + a/c_1)}{Z_{21} \cos(\omega + a'/c_2)} \quad (3.9.22)$$

の図成があり、これに振動の分布が定まる。次に図の  $Q$  端値を機械端子にとったときの等価質量  $m$  は、【部】直部の等価質量をそれぞれ  $m, m',$  とし、 $Q, Q'$  両面の速度をそれぞれ  $v, v'$  とすると  $v = \lambda \sin \alpha \sin \alpha' / c$ ,  $v' = \lambda' \sin \alpha' / c'$  で、

$$m_2 = m_2 \frac{v_2}{v_2'} \left( \frac{v_2'}{v_2} \right)^2$$

この場合の力係数  $A_4$  は 3-8-1 の (3-8-8) 式を用いて計算して

$$A_1 = \left\{ 1 + \frac{\sin \omega_n b' / c_1'}{\omega_n a \frac{S}{L_1 V}} \right\} \cos \frac{\omega_n a \frac{S}{L_1 V}}{L_1 V} \quad (3.9.2d)$$

となる。特にII部が1/4共振のときは上式で  $a'=0$ ,  $\omega_a b'/c' = \pi/2$  とおけばよい。

この同値子は余弦型正定値核関数(3.3 節)と等しい形式が同じで、そこで求められている値々の集合はこの集合にも適用できる。例えば  $\omega_0/\omega_1 = (e/2)^2$ ,  $\omega_0/\omega_2 = (e/2)^4$  とおくと、2 乗の式  $\tan(e/2)\omega = \tan(e/2)\beta = 0$  となり図数が利用できる。

である。

(2) 徳山第一、徳作兄、上野町宛地下の米穀、郵便と金送（昭和16年11月）。

20) 磁中子線, 藤井正, 工機電研報告, 昭和 24 年 10 月 27 日。

21) L. Camp, Lamination Designs for Magnetostrictive Underwater Electroacoustic Transducers, J. A. S. A., 20, No. 5, (Sept., 1918) 616.

### 3.9.2 厚み振動モード

図 3-82 に示すように境界の方向に振動する振動子で、厚さが長さ、幅に比べて小さいときは、共振は厚さだけで定まり、変位は厚さの方向だけに生じこれと直角の方向にはほとんど生じないといふのである。この共振周波数  $f_n$  を定める弾性定数はヤング率 ( $1/E_{11}$ ) でなく、方向に変位を許さないとしたときの弾性定数  $c_{11}$  で、 $f_n$  は

$$f_n = \frac{\pi}{2l} \sqrt{\frac{cU}{\rho}} \quad (n=1,3,5,\dots) \quad (3.9.25)$$

この機軸子は電界の方向に振動変位が起きるので、 $3 \cdot 8 \cdot 1(1)$  に示すような変型、 $\phi$  が起る。これが、また両自由面に関する力係数  $A$  は、 $S$  を電極面積、 $e$  を厚さの方向の圧電応力定数とすると

$$A = (2S/t)e^{(3.0 \cdot 28)}$$

兩自由面に關する等価質量は全質量の  $1/2$  である。

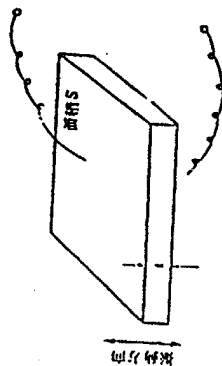


图 3-82 以水促排法

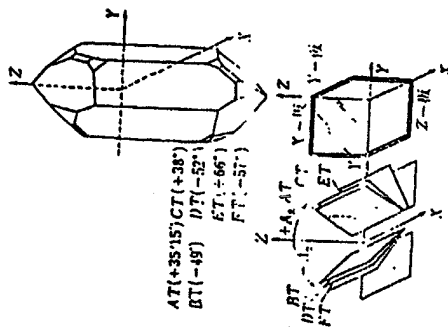


图 3-83 分油点与密封环

水晶文板

水晶の  $\pi$  軸に直角に切った板 (図 3-83) は  $E_x$  という電界により  $\pi$  方向の歪を生ずるので、厚み振動を生じ 0.5~30 Mc の超音波発生用に広く用いられる。定数は表 3-15 に記してある。

水晶 X 板で数十kc の共振を得るには、厚さを相当厚くしなければならぬ。これを選けるために 2 枚の弾性板の間に水晶 X 板を多数セザイク状に留んで接着した共振子が用いられ、これをランジバン型振動子という。水晶のかおりにチタン酸バリウム磁器を用いれば 1 枚ですむ。この共振子はランジバン型振動子と異なり、よく用いられる。これについて 3-10-3 に述べる。

### 3.9.3 迂リ振動子

これには、厚み $\delta$  (thickness) と面 $\delta$  (face) の二つの様式がある。

(1) 厚みにリ振動子

22) 古貨急用、庄前次と出羽、才一ム杜(昭和13年)

図 3-84 に示すように電極の面に平行な二方向に振動する。厚さがこれと直角の寸法に出して小さければ、共振周波数  $f_n$  は厚さ  $l$  だけで定まり (3-9-26) 式で与えられる。このとき  $c_{11}$  は剪断の弾性定数で、水晶の場合  $E$ ,  $\nu$  なる電界により  $xy$  面が歪むので  $c_{66}$  である。力係数も (3-9-26) 式と形は同じで、等価質量も全質量の  $1/2$  である。水晶  $Y$  板は  $Y$  軸に直交に切った板で (図 3-83), 同波数定数は約 192 kc-cm, 結合係数  $k=0.14$  である。

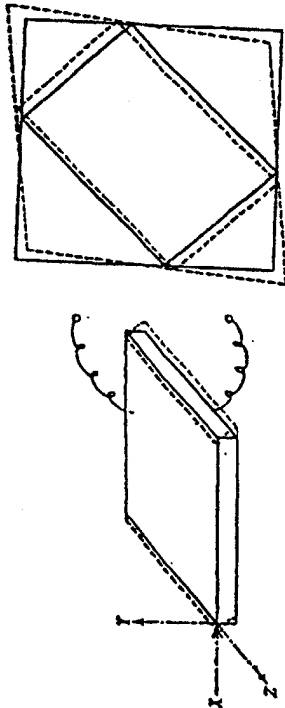


図 3-84 長さより振動

## (2) 面より振動

これは図 3-85 に示すように、矩形の面が矩形になるような振動を行ない、周辺の寸法によって共振が定まるので板共振子とも呼ばれる。共振  $f_n$  は結合振動のない場合には近似的に

$$f_n = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{a^2}{a^2 + b^2}} \quad (3-9-27)$$

で与えられる。ここに  $a, b$  はそれぞれ長さ、幅  $m, n$  は振動模式を表わす数で、基本振動では  $m=n=1$  である。  $E$  は剪断の弾性定数で、水晶  $Y$  板においては  $E$ ,  $\nu$  なる電界により  $xy$  面が歪む面より振動を行ない、このとき  $\mu=c_{66}$  である。ロジック板、ADP も面より振動を行ない、45° 板にすれば図 3-85 点線に示すように伸び振動を行なわせることができる。

## (3) 温度係数の小さい水晶共振子

図 3-83 に示す水晶共振板において  $Y$  板に似て、その厚みの方向を  $x$  軸のまわりに回転させて得られる振動子は、温度係数が小さいので、発振器の周波数制御に多く用いられる。  $AT$  板、  $BT$  板は厚みより振動で、基本共振が 15 Mc 位迄のものが得られる。  $CT$  板、  $DT$  板は面より振動で数百 kc のものが得られる。最も温度係数の良い振動子は  $GT$  板で、厚さの方向を  $x$  軸のまわりに回転して、更に矩形面の方向を 45° 回転したもので面より振動を行なう。

きながら、これらは液体の入り粘性および剪断弾性を測定するのに用いられる (II 編, 6-5 参照)。

## 3-9-5 振み振動子

水晶、ロジック板、ADP など振動効果のある振動子の電極を分割して電圧をかえて振動すれば、上面は伸び下面は縮むから、横み振動を起す。帯通両端から 0.224 の節点のところで支持し 1~20 kc 位の共振が得られる。

## (1) バイモルフ振動子

長さの方向に伸び縮みする圧電板 2 枚を貼り合わせて、一方の板が伸びるとき他方の板が縮むようにすると、横み振動を行なう (図 3-87 振み型 (バイモルフ) 圧電振動子)

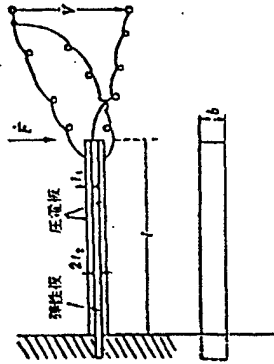


図 3-87 振み型 (バイモルフ) 圧電振動子

表 3-17 振み型 (バイモルフ) 圧電振動子

図 3-17 振み型 (バイモルフ) 圧電振動子	両端固定・両端自由	両端固定・両端固定	両端固定・両端自由	両端自由・両端自由
共振周波数 $f_n$ (Hz)	$f_n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$f_n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$f_n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$f_n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$
共振モード	$n=1$	$n=1$	$n=1$	$n=1$
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				
共振モードの形状				

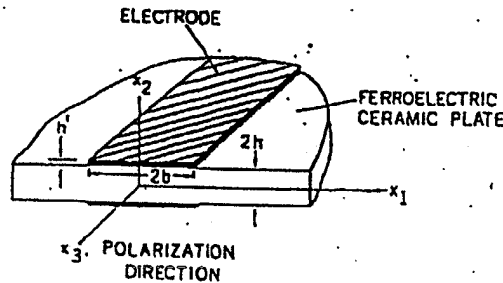


Figure 5.3. A thin ferroelectric ceramic plate polarized along  $x_3$  with infinite strip electrodes along  $x_3$ .

section, this permits us to work with modified Hankel functions of the first kind, rather than the more complicated second kind.) This sign change also necessitates reversing the sign of the loss or imaginary components of the material coefficients in Equations 1.33 and 1.45: Power dissipation  $P_d$  in Equation 1.44 is not invariant to the transformation  $e^{i\omega t} \rightarrow e^{-i\omega t}$  (i.e.,  $\omega \rightarrow -\omega$ ) unless this sign reversal in the material coefficients is made as well.

We shall search for thickness-twist type wave solutions of the equations of motion in which propagation is along  $x_1$ ,  $u_3$  and  $\phi$  are nonzero, and  $u_1$  and  $u_2$  are zero.\* The solutions we seek for the nonzero variables  $u_3$  and  $\phi$  will depend on  $x_1$  and  $x_2$ . Subject to these restrictions, we find the nonzero strains are  $S_4$  and  $S_5$ ,

$$\begin{aligned}
 S_1 = \frac{\partial u_1}{\partial x_1} &= 0 & S_2 = \frac{\partial u_2}{\partial x_2} &= 0 & S_3 = \frac{\partial u_3}{\partial x_3} &= 0 \\
 S_4 = \frac{\partial u_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2} &= \frac{\partial u_3}{\partial x_2} & S_5 = \frac{\partial u_1}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_1} &= \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \\
 S_6 = \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} &= 0
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

Similarly, the nonzero electric fields are  $E_1$  and  $E_2$ ,

$$E_1 = -\frac{\partial \phi}{\partial x_1} \quad E_2 = -\frac{\partial \phi}{\partial x_2} \quad E_3 = -\frac{\partial \phi}{\partial x_3} = 0 \tag{5.2}$$

\* Thickness-twist wave solutions resemble thickness-shear solutions in that both have particle displacement and propagation in the plane of the plate. However, in thickness-twist solutions, displacement and propagation are perpendicular, whereas they are parallel in thickness-shear solutions (see Figure 11 of Reference 111).

"Design of Resonant Piezoelectric Devices"

by Richard Holland et. al. (THE M.I.T. PRESS, 1969)